

## ТЕПЛО- І МАСООБМІН ПРИ АДІАБАТНОМУ ЗАКИПАННІ РІДИНИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТАХ

Д. т. н. В. О. Туз, к. т. н. Н. Л. Лебедь, Я. Є. Трокоз

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Україна, м. Київ

valeriituz56@ gmail.com, nata.lebeddom@gmail.com, yar\_t@voliacable.com,  
ultravires.lebedigor@gmail.com

*На основі аналізу результатів експериментального дослідження процесу тепломасообміну при адіабатному закипанні рідини в апаратах при дроселюванні в соплі підтверджено домінуючий вплив на дисперсність розпилювання величини перегріву рідини. Також виявлено автомодельність теплового напруження об'єму робочої камери від величини діаметру сопла, що дозволяє знизити вимоги до дисперсності розпилювання.*

*Ключові слова: тепловіддача, масовіддача, адіабатне закипання, автомодельність процесів.*

При забезпеченні вимог до термостабілізації елементів радіоелектронного обладнання та інших пристроїв можливо використання процесів, які пов'язані з випаровуванням або адіабатним скипанням рідини. При розробці апаратів охолодження не завжди враховуються стан робочої рідини і пов'язані з нею фізичні явища, що приводить до не зовсім коректного трактування отриманих результатів. Необхідною умовою складання фізичної моделі багатофакторного процесу є чітке уявлення про термодинамічні характеристики фаз і їх еволюцію в часі і просторі [1]. При проектуванні апаратів, у яких формування плівки рідини здійснюється за допомогою форсунок, необхідно чітко розмежувати етапи і інтенсивність теплообміну від моменту формування краплі до контакту з поверхнею каналів насадки і процесами, що протікають з генерованою плівкою.

Розпад струменя рідини, що витікає з сопла, здійснюється, крім дії осесиметричних збурень, турбулентних пульсацій, явищ кавітації, капілярних сил, також і за рахунок дії процесу закипання перегрітої рідини. З фізичних параметрів на розпад струменя перегрітої рідини найістотніше впливають в'язкість, поверхневий натяг, густина рідини і пари, а також величина перегріву рідини.

Інтенсивність генерації пари при витіканні перегрітої рідини залежить, в основному, від величини її початкового перегріву. При невисоких перегрівах  $\Delta t_p=1—5^{\circ}\text{C}$  випаровування відбувається з поверхні струменя [2]. При більш високих перегрівах закипання супроводжується інтенсивним подрібненням рідини з утворенням великої кількості крапель, з поверхні яких здійснюється випаровування.

Оцінюючи реальні умови експлуатації тепломасообмінних апаратів не слід виключати можливості їх роботи за наявності початкового перегріву робочої рідини, а в деяких випадках такі режими можуть бути однією з складових технологічних процесів. Враховуючи складність і багатофакторність процесу, виникла необхідність в дослідженні процесу адіабатного закипання рідини в апаратах.

Для визначення впливу на процес адіабатного закипання в апараті конструкції сопла, через яке здійснювалося дроселювання робочої рідини, воно було вибрано таким, щоб звести до мінімуму процес пароутворення в ньому, тобто сопло було циліндричним з коротким каналом і співвідношенням довжини та діаметру  $l/d_c=0,1—0,4$  [2 — 4]. Таким чином, при зведенні балансу кількість пари, утвореної при дроселюванні в соплі, наближалась до нуля і враховувалась разом з парою, утвореною в робочій камері до моменту контакту рідини з поверхнею каналів насадки.

Згідно з результатами [2], на дисперсність розпилювання крапель при диспергуванні перегрітої рідини впливає не тільки геометрія сопла, але і величина перегріву. Причому, при перегріві  $\Delta t_p > 25^\circ\text{C}$  на характер і дисперсність конструкція сопла практично не впливає, кут розкриття факела досягає  $180^\circ$ . При перегріві  $\Delta t_p$  від  $0$  до  $7^\circ\text{C}$  випаровування здійснюється з поверхні струменя, а при перегріві від  $7$  до  $25^\circ\text{C}$  спостерігалася деформація струменя з утворенням крапель, що викликана закипанням рідини. Діапазон перегріву  $\Delta t_p = 7\text{—}25^\circ\text{C}$  представляє найбільший інтерес з погляду мінімізації втрат тиску в соплі і отримання відповідної якості розпилювання.

Конструкція контактного апарату запобігала виносу крапель, утворених в результаті закипання перегрітої рідини. Це досягалось тим, що робоча камера розділялася вставкою, в яку встановлювалася насадка. Завдяки цьому висхідний потік пари було відділено від низхідного потоку пароводяної суміші, крім того, нахил каналів насадки щодо її осі запобігав вільному прольоту крапель через об'єм насадки. Оскільки швидкість пари між корпусом і розділювальною вставкою при максимальній витраті і перегріві рідини не перевищувала  $0,25$  м/с, то всі краплі, що відривалися з поверхні каналів насадки, видалялися через дренаж з робочої камери.

Для визначення впливу діаметру сопла на інтенсивність процесів випаровування перегрітої рідини в контактному тепломасообмінному апараті були проведені дослідження в діапазоні діаметру сопла  $d_c = 0,4; 0,6; 0,7; 1,0$  мм. Досліди проводилися при перегріві рідини  $\Delta t_p$  від  $5$  до  $20^\circ\text{C}$  в апараті з насадкою і без неї. Аналіз отриманих результатів, представлених у вигляді залежності питомого теплового напруження об'єму робочої камери  $q_v$  від діаметру сопла  $d_c$  показав, що при невисоких перегріві  $\Delta t_p = 5^\circ\text{C}$  в апараті без насадки зі збільшенням  $d_c$  від  $0,4$  до  $1,0$  мм  $q_v$  зменшилося на  $18\%$ , проте при збільшенні перегріву рідини  $\Delta t_p$  до  $12^\circ\text{C}$  і  $20^\circ\text{C}$  вплив геометрії сопла на інтенсивність тепломасообміну значно знижується, тим самим підтверджується домінуючий вплив на дисперсність розпилювання величини перегріву рідини. З іншого боку, при дослідженні процесів в апараті з насадкою спостерігається практично автомодельність теплового напруження робочої камери  $q_v$  від діаметру сопла  $d_c$  в діапазоні дослідження перегріву рідини  $\Delta t_p$ , що дозволяє знизити вимоги до дисперсності розпилювання.

Аналіз результатів проведених досліджень показав, що зі збільшенням величини перегріву  $\Delta t_p$  вплив геометрії сопла на інтенсивність тепло- і масообміну значно знижується, тим самим підтверджується домінуючий вплив на дисперсність розпилювання величини перегріву рідини.

У всьому досліджуваному діапазоні перегріву рідини спостерігається автомодельність теплового напруження робочої камери від величини діаметру сопла, що дозволяє знизити вимоги до дисперсності розпилювання.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Накорчевский А. И., Басок Б. И., Гаскевич И. В. Структура потока при течении вскипающих жидкостей в коротких каналах // Пром. теплотехника. — 1993. — Т. 15., № 5. — С. 38—45.
2. Шурчкова Ю. А. Адиабатное вскипание. Практическое использование. — Киев: Наукова думка, 1999.
3. Накорчевский А. И., Басок Б. И. Гидродинамика и теплоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках. — Киев: Наукова думка, 2001.
4. Зысин В. А., Баранов Г. А., Барилевич В. А., Парфёнова Т. Н. Вскипающие адиабатные потоки. — Москва: Атомиздат, 1976.

V. O. Tuz, N. L. Lebed, Y. E. Trokoz

#### Heat and mass transfer during adiabatic boiling of liquid in technological devices

*The analysis of the experimental results on heat and mass transfer during adiabatic boiling of the fluid in the apparatus when throttling in the nozzle has shown that the amount of liquid overheating has the dominant influence on the dispersion. The study has also shown the self-similarity of the thermal stress of the working chamber volume from the diameter of the nozzle, which reduces the requirements for the dispersibility of the nozzle.*

*Key words: heat transfer, mass transfer, adiabatic boiling, self-similarity.*